

准分子激光高输出的获得

欧阳斌

(中国科学院上海光机所, 201800)

M. Steyer

(西德马普·生物化学所)

K. Stankov

(保加亚·索非亚大学)

摘要: 本文介绍有效单位体积内高输出的准分子激光器及获得高输出的一些技术问题。

关键词: 预电离, 剂量, 加速电容, 倒向电路

Study on excimer laser for obtaining high output

Ouyang Bin

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

M. Steyer

(Max-Planck-Institute for Biophysical Chemistry, FRG)

K. Stankov

(Sofia University, Bulgaria)

Abstract: An excimer laser with high output in effective volume is described and the key techniques for obtaining high output are studied.

Key words: preionization, dose, speed-up capacitors, inversion circuits

准分子激光已引起激光界的广泛深入研究^[1,2], 为了获得高的输出, 我们对准分子激光的一些关键技术进行了系统的研究。在水电容组成的主放电回路的 X 光预电离氯化氙准分子激光器中, 在放电截面为 $4 \times 1.5 \text{ cm}^2$, 长为 40 cm 较大体积内, 获得单位有效体积输出功率达 100 MW/L 的结果。本文就预电离技术、预电离同步、放电技术以及混合气体的成分等问题作一些简单的介绍、分析。

一、预电离技术及问题

鉴于氯化氙准分子激光器中所含氙具有对 X 光吸收系数大的优点, 若选用电子束或紫外光显然不及 X 光有利, 换言之, 氯化氙准分子激光器应采用 X 光作预电离。但对 X 光源的谱分布、射线的空间分布、光源的强度都应从工作气压、激光介质所占体积来考虑, 必须保证能够产生足够的离子对, 并均匀分布在有效体积内。射线能谱应注意穿透容器壁但无大量 X 光子逃出。最佳的装置应往往是与准分子激光器一起研制。为研制大体积高压氯化氙准分子激光器, 我们特制了一台附有加速电容的, 具有高剂量输出的 X 光源^[3], 它与主放电之间的时间耦合可在实验中来确定, 预电离的 X 光光子应先使激光工作物质电离, 主放电应在电极之间离

子对密度最高时开始。一组实验证明,预电离与主放电之间时间上的提前有一个最佳值。

实验中测量了输出的激光能量依赖于预电离与主放电间的时间关系曲线。图1中横坐标是以主放电为参考的延迟时间,负值表示X射线对于主放电实际应提前。曲线给出激光输出能量的最大值出现在120ns。虽然提前400ns仍测得激光输出,而预电离延迟了100ns就测不到激光的输出。这是因为实际上这时预电离已经在主放电之后,未经预电离的介质中主放电则是微扰形的电场击穿,放电则出现丝状放电。

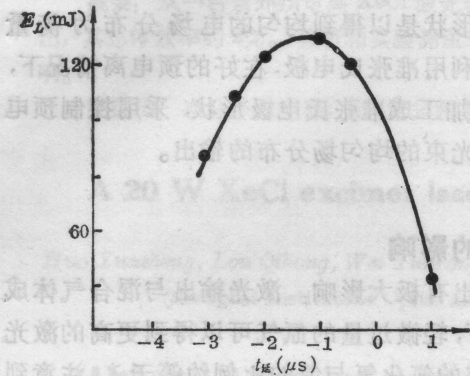


图1 激光输出能量依赖于预电离‘同步’

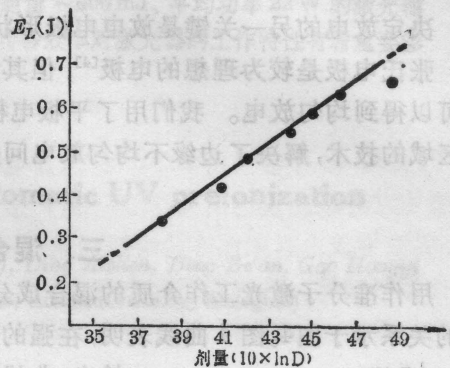


图2 激光输出随X射线剂量的变化

激光输出的另一影响因素是电离密度。即激光输出还依赖预电离的X光剂量。图2中,在一定的范围内,激光输出能量与剂量的对数成线性关系,能量随剂量D的对数增长而增长。在 $4 \times 1.5 \text{ cm}^2$ 截面长为40cm的放电体积内,灌注入100mR的X射线仍未出现饱和,偏离曲线是在灌注135mR处开始。曲线给出本激光器所需要的最小剂量不应小于15mR。X射线辐照的空间,应与准分子的腔结构配合。不同阴极的X射线管可以得到X射线的空间分布,加上调制X光的输出光瞳,就可以控制主放电的区域。例如,用碳绒毡冷阴极X光管,容易获得大面积的X射线均匀辐射,而石墨阴极的X射线管,可在有限范围内得到均匀的高强度X射线辐射场。

二、放电激励技术

准分子放电过程直接决定激光输出功率及能量空间分布。准分子激光器激励放电线路较常用的有:能量传输电路、倒向电路以及麦克斯威电路等。参考Cirkel电路^[3];我们用水介质电容 C_1 和 C_2 及电感L组成了倒向电路,示于图3。

由慢充电使 C_1 和 C_2 充于 V_0 ,瞬间使开关S导通, C_1 上电荷迅速倒向,在主电路放电电极上产生接近于2倍的 V_0 电位差。调整电感L值,可以得到极间放电激励能量最大,调整 C_1 和 C_2 的比,使主放电电路的电极间电压接近于二倍 V_0 。 C_1 和 C_2 之比 α 为2.5、1和0.6时,主回路电极电压与 V_0

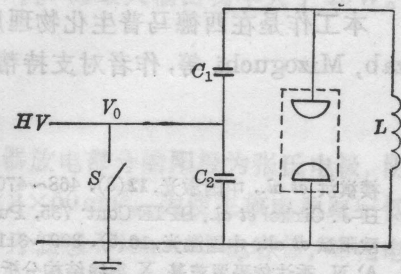


图3 倒向方式的激励线路

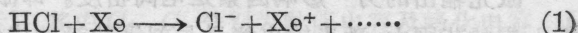
的比 β 对应值为 1.78、1.85 和 1.89。 β 随 α 增加而变小。设计此电路除了力求减少寄生电感外,安排水电容 C_1 和 C_2 时,要使电磁波在回路中传播的时间要短。

实验还比较了其它线路,结果认为麦克斯威电路容易得到高的电压, E/P 值高,但电流较小,总的激励电能并不大,不利于提高准分子的激光输出。保证足够的激励能量,在倒向电路中也是同样突出的,当电容 C_2 为 80、120 和 200 nF 时,对应激光输出能量分别为 238、330 和 367 mJ。

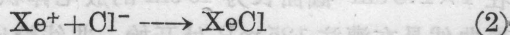
决定放电的另一关键是放电电极形状。好的电极形状是以得到均匀的电场分布为衡量的。张氏电极是较为理想的电极^[4],但其加工比较难,利用准张氏电极,在好的预电离情况下,也可以得到均匀放电。我们用了平板电极并且其边缘加工成准张氏电极形状,采用控制预电离区域的技术,解决了边缘不均匀放电问题,获得了激光束的均匀场分布的输出。

三、混合气体成分的影响

用作准分子激光工作介质的混合成分对于激光输出有极大影响。激光输出与混合气体成分的关系示于图4。图4曲线表明,在强的预电离条件下,轻微过量的氙气可以得到更高的激光输出。曲线的极大值对应的氯化氢与氙的比例约等于1。注意到氯仅占5%,氙的实际量已经大于构成氯化氙准分子所需的比例。由于



而



就分子原子数计,氙和氯的比为1:1。但因为过量的氙使混合气体对 X 射线吸收力增强,即平均的吸收系数 $\bar{\mu}$ 值增大。其平均值 $\bar{\mu}$ 等于

$$\bar{\mu} = \eta_1 \cdot \mu_1 + \eta_2 \cdot \mu_2 + \eta_3 \cdot \mu_3 \quad (3)$$

其中 η_i 为等 i 种气体在混合气中的比例权重。氙的吸收系数 μ , 在 X 光光子能量为几百 eV 到几万 eV 范围,比其它气体大一至二个量级。从上式不难看出,增加氙气即加大权重后, $\bar{\mu}$ 会有较大的增加,即过量的氙气对于预电离能吸收会大为增加,有利于主放电的进行,有利于对于激光介质的激励,提高激光能量的输出。

本工作是在西德马普生物物理所 F. P. Schäfer 教授指导下做的,先后参加者还有 Z. Szab, Mizoguchi 等,作者对支持帮助本工作的其它同事一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 楼祺洪 *et al.*, 中国激光, **12**(8), 468~470(1985)
- 2 H-J. Cirkel *et al.*, SPIE Cont' 735, Pulse Power Laser, 50(1987)
- 3 欧阳斌 *et al.*, 中国激光, **16**(5), 309~311(1989)
- 4 A. N. 季达依哥罗茨基, X 射线结构分析, 科学出版社, 1958 年

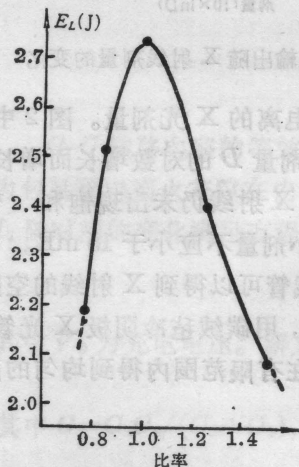


图4 混合气体比份对激光比率能量的影响
(横坐标为氯化氢与氙的比)